

非乳酸性代謝に係る運動駆動能力評価のための 自転車エルゴメータの開発 —最大無酸素性パワー算出のための補正方法—

塩野谷 明*・長谷川 光彦**・三宅 仁*

Development of Bicycle Ergometer
to Estimate the Non-Alacid Metabolism Work Capacity
—The modification to determine the maximum anaerobic power—

Akira SHIONOYA, Mituhiko HASEGAWA and Hitoshi MIYAKE

The object of this study is to develop the bicycle ergometer to estimate the non-alacid metabolism work capacity. especially in this paper, the modified method to determine the maximum anaerobic power. In this new method, the maximum anaerobic power is decided as follows:

The correlation between pedal loads and pedal cycling velocity in driving ergometer is estimated by a quadratic functions. This quadratic function is adapted to Hill's equation " $(P+a)v=(P_0-P)b$ " a fixed number of force (a) and velocity (b) is decided. Hill's equation is transformed to power equation " $PV=bP\{[(P_0+a)/(p+a)]-1\}$ ", the maximum anaerobic power is decided by inserting 2 fixed numbers into this power equation.

Key words: Ergometer, Non-alacid metabolism, The maximum anaerobic power, Hill's equation

1. 緒 言

走・跳・投といった運動は、いわゆる筋の収縮の集合として考えられる。それゆえ瞬発性や持久性といった運動の形態・様式は、筋の持っている特性に基づくものと考えられる。

近年の科学・技術の日進月歩の発展は、こういった運動の評価を含めて運動・スポーツ全体に大きな影響・変化を齎してきた。例えば持久力の指標と言えば、一般的には踏台昇降運動テストやハーバードステップテストが知られるが、より本質的な最大酸素摂取量($\dot{V}O_2\max$)といった生理指標に基礎を置くPWCや $\dot{V}O_2\max$ 自体の推定方法の開発、さらにそれらを決定する諸機能が搭載されたエルゴメータの開発によって、一般的な持久性の捉え方自体も変化してきている。

現在我々は心拍・呼吸数併用制御型エルゴメータの

開発をとおして、全く新しい持久性の評価およびその応用に係る一連の研究を進めている。また前述のようにPWCの決定や $\dot{V}O_2\max$ の推定、これら機能搭載したエルゴメータの開発等と持久性の評価に係る研究は非常に多い。これは今日、スポーツが健康の保持・増進に深く関与すると評価されることに起因しよう。

しかしスポーツの目的の多様化や、あるいはある特定の目的、例えば競技スポーツの高度化によって、他の側面についての評価も必要不可欠となってきた。

持久性の運動能力は、有酸素性能力として評価される。これに対して瞬発性の運動能力は、無酸素性能力として評価される。従来、この無酸素性能力に係る評価は非乳酸性代謝を対象とした最大無酸素パワー、乳酸性代謝を対象としたWingate testが主な基準であった。これらは運動に必要な化学的エネルギーが、機械的エネルギーに変換されたという仮定で行われる。

しかし実際にこの種の測定方法・装置開発に係る研究は、有酸素性能力のそれに比較して少なく、またすでに製品化されている測定装置にも依然として、いくつかの問題点等が指摘されている。

そこで本研究では無酸素性代謝に係る能力を取り上

原稿受付：平成8年6月14日

* 長岡技術科学大学体育・保健センター

**長岡技術科学大学計画・経営系

げ、非乳酸性能力評価のためのエルゴメータ開発を目的とし、その基礎的研究として従来から行われてきた最大無酸素性パワー決定法の補正方法について開発・提案を行うものである。

2. 最大無酸素パワー算出に係る補正方法の提案

2-1 従来の最大無酸素パワー算出

最大無酸素パワーは、一般に自転車エルゴメータを用いた一連の手順に従って算出される⁹⁾。このエルゴメータにおける仕事量をPVとすると

$$PV = L \times g \times 6 \times (R/60) \cdots \cdots 1)$$

となる(但し、PV=パワー(w)、L=ペダル負荷(kp)、g=重力加速度(9.8m/s²)、R=ペダル回転数(rpm)、6=ペダル1回転につき、フライホイールが動く距離)。

この関係から負荷に対するパワーの算出は、以下の手順となる。

エルゴメータ駆動時のペダル負荷(L)とペダル回転数(R)の関係は、

$$R = -\alpha \times L + \beta \text{ (但し } \alpha, \beta \text{ は正の定数)} \cdots 2)$$

で近似される(図1)。ここで2)式を1)式に代入すると、

$$\begin{aligned} PV &= 0.98 \times L \times R \\ &= 0.98 \times (-\alpha \times L + \beta \times L) \\ &= 0.98 \times \{-\alpha(L - \beta/2\alpha)^2 + \beta^2/4\alpha\} \cdots 3) \end{aligned}$$

が得られ、これは負荷(L)に対するパワーを示す曲線式となる。この3)式よりPが最大となる条件はL=b/2aとなり、その最大値をPVmaxとすれば

$$PV_{\max} = 0.98 \times \beta^2/4\alpha \cdots \cdots 4)$$

が得られる。すなわち1)式において、定数 α 、 β がわかれば、負荷に対するパワー曲線および最大パワーとその出現時負荷がわかることになる⁹⁾。

この方法はすでに中村らによって、コンピュータ化されたユニットとして一般に市販されている。

この方法の基礎にあるものは、ペダル負荷とペダル回転数が負の直線関係にあるという仮定で、その直線関係よりパワーへの変換を行っている。

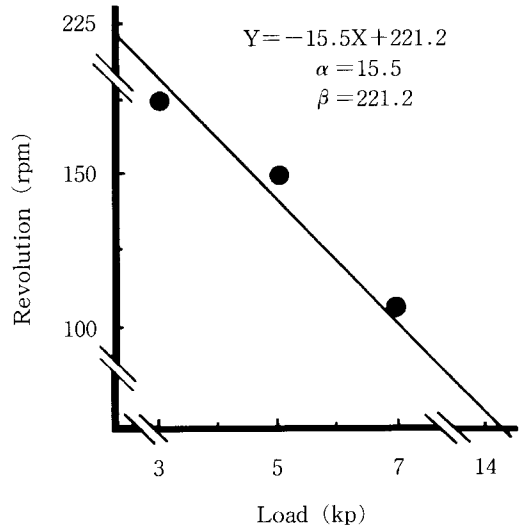


Fig. 1 The relationship between the revolution and load in driving ergometer. A linear regression line is $Y = -15.5X + 221.2$

しかし猪飼、生田らはこの両者の関係は一次に近似されるのではなく、凸型に指数近似されることを報告している³⁾。すなわち中村らの方法は、測定時間の短縮ならびに測定の簡便化を図る目的で、ペダル回転数とはほぼ直線関係が得られる負荷区間を用いているが、この方法では実際のパワー曲線、最大パワーとは異なった数値が得られることになる。

2-2 最大無酸素パワー算出へのHillの方程式の応用

前述のように運動とは、筋の収縮の集合体といった考え方ができる。エルゴメータ駆動の場合も、多数の筋群の収縮・弛緩の繰り返しによって運動が構成されると考えられる。

運動(=筋収縮)は、ATPの加水分解によって発生する化学的エネルギーが機械的エネルギーに変換されることで行われる。そしてこれはHillの特性方程式^{1) 3) 4)}によって記述される。

Hillの特性方程式³⁾は一般に

$$(P + a)(v + b) = (P_0 + a)b \cdots \cdots 5)$$

または

$$(P + a)v = b(P_0 - P) \cdots \cdots 6)$$

と記述される（但しPは力または負荷，加重。vは筋の収縮速度。P₀は最大等尺性筋力。a，bは定数）。

Hillの方程式とは，一般に筋の収縮張力と収縮速度の関係を示した曲線型方程式（一般には直角双曲線型方程式）で，前述のように力学モデルであるがこのモデルはATP分解に係る熱発生に一致する以下のような化学モデルが根底に存在する。

今1cm当りの筋の短縮熱（筋が短縮する際，等尺性時の発熱水準を上回る熱発生が認められ，これは短縮する距離に比例する。このときの熱発生を短縮熱という）をaとすると，加重なしに筋がxの距離短縮するとエネルギーはax，加重をPとした場合は（P+a）xのエネルギーが発生したことになる。これを単位時間当りのエネルギー（＝パワー）とすると，（P+a）x/tとなる。x/t=v（速度）であるから，（P+a）vと書き換えられる。ここでHillはこのエネルギーの発生速度が，（P₀-P）すなわち最大等尺性筋力（P₀）と加重（P）の差に定数bをもって比例すると仮説をたて，これを実験的に証明し導き出したものがHillの特性方程式である³⁾。

すなわちHillの方程式自体は力学モデルであるが，それは化学的根拠に基づいたモデルであり，それゆえにVandwalleや松井，古沢らの多くの先行研究においてHillの方程式の自転車駆動や疾走運動等への適応が検討されている^{2) 4) 7) 8) 10) 11)}。

本研究において，最大無酸素パワー算出はこのHillの特性方程式を応用した金子らのパワー算出手順^{5) 6)}を参考とした。

2-3 実験ならびに最大無酸素パワー算出の補正方法
被験者は，男子大学生（体育系クラブ所属）の5名とした。

実験は1）前述の中村らの方法をコンピュータ制御した市販の電気磁気ブレーキ式エルゴメータによる最大無酸素パワーテスト（以下Pmaxテスト）と2）同エルゴメータのマニュアル設定による負荷設定で1kp，12kpの負荷の全力駆動（10秒間）を実施した。よって被験者はPmaxテストにおける3種類の負荷と合わせて，計5種類の負荷について駆動実験を行ったことになる。

図2は，実験のシステムを示している。エルゴメータ内部のフライホイール部に光センサドライバを装着，フライホイールの回転速度を10° 間隔で測定し，回転速度が定常となる区間の平均値をもってペダル回転速度とした（図3参照）。

5つの負荷と上記システムによって求められたペダ

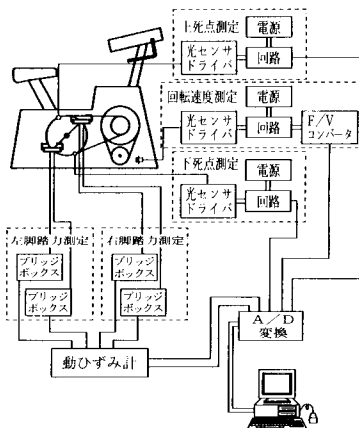


Fig. 2 The experimental procedure in this study

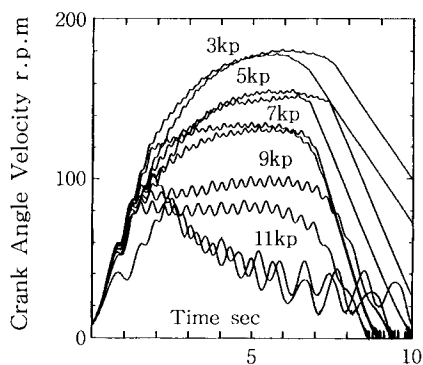


Fig. 3 An example of output from the experimental procedure in this study

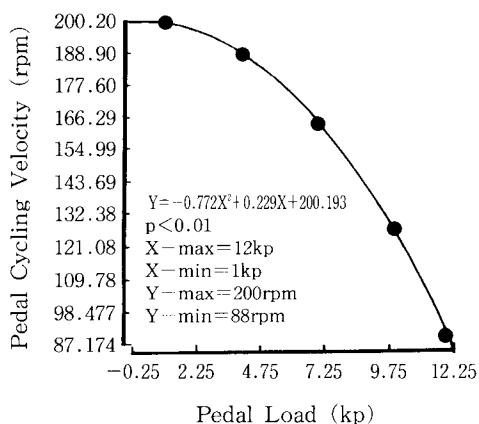


Fig. 4 An estimation of relationship between the pedal cycling velocity and pedal load in driving ergometer by a quadratic function

ル回転速度の関係は、これまでの1次近似によるのではなく、生田らの資料⁴⁾から $Y=AX^2+BX+C$ （但しYはペダル回転速度、Xは負荷値）の2次近似を行った（図4）。ここで2次方程式 $AX^2+BX+C=0$ とおき、得られる2つの解のうち、 $X>0$ の条件を満たす解をもってHillの方程式に適用する場合必要となる P_0 とした。すなわちここで求められる P_0 とは、脚部の各筋が等尺状態（筋の長さが変わらない＝動かない）状態でのペダル踏力となる。また P_0 を実測するのではなく、中村らの方法同様に近似法を用いたのは、本研究の最終的な目的がこの種の測定のためのエルゴメータの開発であり、その場合測定時間の短縮等が求められるためである。

このようにHillの方程式(6式)の各項目を、 P ＝力＝ペダル負荷、 v ＝速度＝ペダル回転速度、 P_0 ＝最大等尺性筋力＝最大ペダル踏力（ $X>0$ を満たす解）と考え、金子らのHillの方程式からのパワー変換手順^{5) 6)}に従った。

すなわち6)式を

$$P = b \{ (P_0 - P) / v \} - a \quad \cdots \cdots 7)$$

と変形し、 P と $(P_0 - P) / v$ の直線関係からHillの方程式の定数 a 、 b を決定（ $p>0.05$ 以上）した（図5）。これは前述のHillの立てた仮説、すなわちエネルギー発生速度が P_0 と P の差に定数 b をもって比例することに従う。

さらに P_{max} を算出するために6)式を変形し、ペダル負荷に対するパワー（PV）曲線の方程式

$$PV = b \times P \times \{ (P_0 + a) / (P + a) - 1 \} \quad \cdots \cdots 8)$$

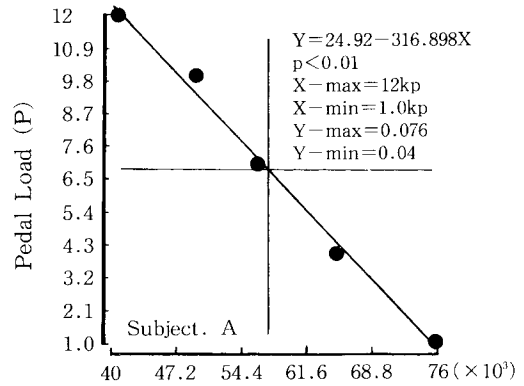
を求め、このパワー曲線が最大となるための条件を、 $\Delta(PV) / \Delta(P) = 0$ として8)式を微分、パワー最大となる荷重 P を

$$P = a \{ \sqrt{(1 + P_0/a)} - 1 \} \quad \cdots \cdots 9)$$

とした。

このように求めた P を定数 a 、 b および P_0 と合わせて8)式に代入し、 PV_{max} を算出した。

以上のように求めた PV_{max} （以下補正 PV_{max} ）と、従来のコンピュータ制御されたエルゴメータが算出した PV_{max} （以下 PV_{max} ）を比較・検討し、補正 PV_{max} の妥当性について検討した。



(P_0P)/ V (kp/sec): Equal to Energy Supply

Fig. 5 An adaptation for Hill's equation

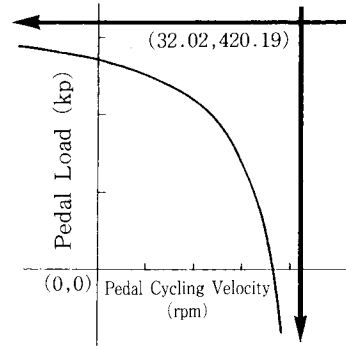


Fig. 6 Hill's equation in driving ergometer in this study

Table 1. The maximum anaerobic power and pedal cycling velocity to each lead in subjects

| Sub. | Height (cm) | Weight (kg) | PVmax (watt) | PVmax (watt/kg) | 1kp (rpm) | 6kp (rpm) | 7kp (rpm) | 10kp (rpm) | 12kp (rpm) |
|------|-------------|-------------|--------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| A | 183.0 | 76.0 | 1283 | 16.88 | 200 | 188 | 164 | 127 | 88 |
| B | 180.0 | 75.0 | 1470 | 19.60 | 241 | 218 | 186 | 147 | 113 |
| C | 174.0 | 68.0 | 1306 | 19.21 | 222 | 198 | 168 | 132 | 93 |
| D | 182.0 | 75.0 | 1329 | 17.72 | 218 | 188 | 163 | 131 | 87 |
| E | 178.0 | 70.0 | 1238 | 17.69 | 215 | 192 | 162 | 125 | 72 |
| AVE. | 179.4 | 72.8 | 1325.2 | 18.22 | 219.2 | 196.8 | 168.6 | 132.4 | 90.6 |
| S.D | 3.2 | 3.2 | 78.4 | 1.02 | 13.2 | 11.2 | 8.9 | 7.7 | 13.2 |

3. 結 果

表1は、各被験者のPVmaxおよび5つの負荷に対するペダル回転速度を示している。平均PVmaxは絶対値1325.2watt (SD=78.4)、体重当り18.22watt (SD=1.02)であった。

表2ではPVmax算出にエルゴメータで用いられた負荷とペダル回転速度の1次回帰式ならびに外挿による最大ペダル回転数 (Rmax) および最大ペダル踏力 (P_0)、および補正PVmax算出に用いた2次回帰式とRmax, P_0 を示している。1次回帰の場合Rmaxは平均239.66rpm (SD=16.55)、 P_0 は23.29kp (SD=1.52)、2次回帰の場合Rmaxは223.18rpm (SD=13.89)、 P_0 は17.09kp (SD=0.93)で、Rmax, P_0 ともに両者間に有意な差がみられた ($p < 0.01$)。

表3ではHillの方程式に近似、定数a, bを決定するための各被験者のペダル負荷 (P) と $(P_0 - P) / v$ を示している。すべての被験者で、負荷 (P) の増加に伴い $(P_0 - P) / v$ は減少傾向を示す。

表4では、表3のPと $(P_0 - P) / v$ の関係を示す回帰式を示している。すべての被験者において有意な関係がみられた ($p < 0.01$)。なお回帰直線の傾きはHill式の定数b, Y軸との交点は定数aを示す。すなわち今回のすべての被験者のPと $(P_0 - P) / v$ の関係が負の関係となり、実験より得られた負荷とペダル回転速度の関係は定数a, bを原点とした座標軸に限りなく近づく逆直角双曲線であることがわかる (図6)。

表5では各被験者のエルゴメータ駆動をHillの方程式に近似した場合の定数a, bと最大パワー発現時の負荷 (P)、ならびに補正PVmaxを示している。

補正PVmaxは絶対値平均765.56watt (SD=88.11)、体重当り10.54watt (SD=1.26)であった。またこれらは補正前のPVmaxに比べ、有意に低い数値であった ($p < 0.01$)。

4. 考 察

中村らの方法9)をコンピュータ制御したエルゴメータによるPVmaxの決定は、3つの異なったペダル負荷とそのときのペダル回転速度の1次の直線関係 $Y = -\alpha X + \beta$ (Xはペダル負荷, Yはペダル回転速度)を用いて決定される。

男子の場合、3つの負荷は概ね4から10kpの範囲にある。表5に示されるようにエルゴメータ駆動時、

Table 2. A linear and quadratic function for estimating the maximum anaerobic power and Rmax, P in subject

| Sub. | Linear Equation | Rmax (rpm) | P_0 (kp) | Quadratic Equation | Rmax (rpm) | P_0 (kp) |
|------|-----------------------|------------|------------|---------------------------------|------------|------------|
| A | $Y = 8.74X + 223.78$ | 223.78 | 25.60 | $Y = -0.77X^2 - 0.23X + 200.19$ | 200.19 | 16.27 |
| B | $Y = 11.83X + 266.5$ | 266.50 | 22.53 | $Y = -0.42X^2 - 5.75X + 247.35$ | 247.35 | 18.36 |
| C | $Y = 11.0X + 243.0$ | 243.00 | 22.09 | $Y = -0.44X^2 - 5.36X + 227.38$ | 227.38 | 17.44 |
| D | $Y = 9.5X + 227.17$ | 227.17 | 23.91 | $Y = -0.34X^2 - 6.42X + 223.07$ | 223.07 | 17.60 |
| E | $Y = 11.17X + 237.83$ | 237.83 | 21.29 | $Y = -0.66X^2 - 3.30X + 217.90$ | 217.90 | 15.80 |
| AVE. | — | 239.66 | 23.29 | — | 223.18 | 17.09 |
| S.D. | — | 16.55 | 1.52 | — | 13.89 | 0.93 |

Table 3. An adaptation for Hill's equation

| P (kp) | Energy Supply ($P_0 - P$) / v | | | | |
|--------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | Sub.A | Sub.B | Sub.C | Sub.D | Sub.E |
| 1 | 0.076 | 0.072 | 0.074 | 0.076 | 0.069 |
| 4 | 0.065 | 0.066 | 0.068 | 0.072 | 0.061 |
| 7 | 0.056 | 0.061 | 0.062 | 0.065 | 0.054 |
| 10 | 0.049 | 0.057 | 0.056 | 0.058 | 0.046 |
| 12 | 0.040 | 0.048 | 0.048 | 0.052 | 0.044 |

Table 4. A relationship between P (load) and $P_0 - P/v$, which is equal to energy supply velocity in subjects

| Sub. | Correlation Coefficient | Linear Regression Model | Level of Significant |
|------|-------------------------|--------------------------|----------------------|
| A | -0.996252 | $Y = 24.9266 - 316.898X$ | 0.01 |
| B | -0.979855 | $Y = 35.8768 - 478.237X$ | 0.01 |
| C | -0.991073 | $Y = 33.5253 - 433.853X$ | 0.01 |
| D | -0.992705 | $Y = 35.7301 - 447.834X$ | 0.01 |
| E | -0.995138 | $Y = 30.0158 - 423.646X$ | 0.01 |

Table 5. Hill's equation fixed number "a" and "b", modified maximum anaerobic power and force detected PVmax in subjects

| Sub. | Fixed $N^* - a^*$ | Fixed $N^* - b^*$ | Modified PVmax (watt) | Modified PVmax/wt (watt/kg) | Force detected PVmax(kp) |
|------|-------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|
| A | 24.93 | 316.90 | 643.05 | 8.46 | 7.12 |
| B | 35.88 | 478.24 | 903.90 | 12.05 | 8.23 |
| C | 33.53 | 433.85 | 789.31 | 11.61 | 7.80 |
| D | 35.73 | 447.83 | 786.56 | 10.49 | 7.92 |
| E | 30.02 | 423.65 | 704.99 | 10.07 | 7.07 |
| AVE. | 32.02 | 420.09 | 765.56 | 10.54 | 7.63 |
| S.D. | 4.13 | 54.77 | 88.11 | 1.26 | 0.46 |

最大パワーの出現する負荷は7.63kp前後であること、およびこの範囲ではほぼペダル回転速度と直線関係を示すことから、この範囲で負荷の設定が行われることは妥当であろう。

しかし前述のように、中村らのこの方法で求めるPVmaxは、直線関係の定数 α 、 β によって決定される($PV_{\max}=0.98 \times \beta^2 / 4 \alpha$)。特にこの式からもわかるように、 β (=最大回転速度) が大きい場合、あるいは α (傾き) が小さい場合は求められたPVmaxが大きくなる数値となってしまう。

塩野谷¹⁰⁾ は女子の運動選手(テニス)を対象に直線関係よりPVmaxを求めた際、ある被験者でこの定数 α が非常に小さい数値であったためPVmaxが非常に大きな数値となってしまうことを報告している。また定数 β についても、表2に示されるように実際の無負荷(0 kp)に近い水準(1 kpや2次回帰式からの外挿によって求めたRmax)と比較してみても、1次式の外挿によって求めたRmaxは24から28rpm程度大きな数値となり、これに影響されてPVmaxも実際より高い数値として評価されることが考えられる。

さらに生田ら⁴⁾ の資料のように、エルゴメータ駆動の場合の負荷とペダル回転速度の関係は、直線に近似されるのではなく、凸型の指数に近似されることが知られている。

以上のことから、負荷とペダル回転速度の関係を2次に近似し、できる限り凸型の指数近似に近づければ、PVmaxを決定するために必要なRmaxや P_0 を実際の数値に近似でき、結果として真のエルゴメータ駆動のPVmaxが決定できることになる。

本補正法では5つの負荷とそれに対するペダル回転数を2次で近似し、パワー算出に必要な定数をできる限り実際に近いものとした。例えば、外挿によって得られたRmaxは平均223.18rpmで、1kpの実駆動平均が219.2rpmであることと考え合わせると、エルゴメータ駆動時の負荷とペダル回転速度の関係が凸型であることが十分に理解できる数値と考えられる。また P_0 についても平均17.09kpであることから、 P_0 (この場合はペダルの最大踏力) の意味を考えると、これも妥当性の高い数値であることが考えられる。さらにこの P_0 については、1次近似より外挿にて得られた $P_0=21.29\text{kp}$ と比較するとより明かとなる。

次に、このように2次近似によって得られた曲線の妥当性の問題があるが、これに関してはHillの方程式からのパワー変換の手順における実験値の式への適応をもって妥当性が高いと判断できる。

すなわち表4に示されるように、すべての被験者に

おいて、Hillの方程式の適応条件である P (負荷) と $(P_0 - P) / v$ (エネルギー供給速度) の関係が有意な負の関係にあった。つまりこれは表5に示される定数 a 、 b の平均値で言えば、実験より得られたペダル負荷とペダル回転速度の関係は、力の定数 $-a$ の平均32.02 (kp)、速度の定数 $-b$ の平均420.09 (rpm) を原点とした座標軸に限りなく近づく直角逆双曲線を示すことになる(図6参照)。すなわち金子^{5) 6)} の手順に従えば統計上Hillの方程式への適応が可能となり(但し逆双曲線に近似)、さらに曲線が直角逆双曲線で示されることは、これまでに報告されるエルゴメータ駆動時のペダル負荷とペダル回転速度の関係⁴⁾ と同様の傾向がみられることから、5つの負荷の選択と2次近似を用いた補正方法はエルゴメータ駆動の動態をほぼ適切に捉えているものと考えられる。

しかしここでいうHillの方程式への適応とは、厳密に言えばパワー算出に至る手順がこの補正方法に適応するというに留まる。なぜなら図5に示されるように、単位時間当りのエネルギー供給に等しい $(P_0 - P) / v$ はペダル負荷と負の関係となる。すなわちこの図5に示す1次式によって得られた定数 a 、 b から、ペダル負荷とペダル回転数の関係は前述のように逆双曲線となる(図6)ことがわかる^{5) 6)}。これはペダル負荷が増すに従い、ペダル回転数が急激に低下することを示している。

これに対して、最初にHillの方程式に近似された筋の単収縮の場合は、 $(P_0 - P) / v$ と負荷の関係に正の関係が成り立ち、得られた定数 a 、 b から負荷と収縮速度の関係は直角双曲線を示す^{5) 6)}。すなわち最大筋力 P_0 に近づいた場合でも、急激な収縮速度の低下はみられない。この筋の単収縮と連続収縮の違いは、前述のようにこれまでにも多く報告される⁴⁾。しかしその理由は依然として不明であり、ここにHillの方程式の適応という点で今後の課題が残る。

またこの一連の補正方法により得られた補正PVmaxは、平均765.56wattと1次近似を用いたPVmax平均1325.2wattと比較して有意に低い数値となる。これは前述のようにRmaxや P_0 に代表される、PVmaxを決定するいくつかの要素を2次近似することとペダル負荷を5つに増やし、適応度を高めたことに起因する当然の結果であり、エルゴメータ駆動の動態により近いパワー評価であったと考えられる。例えばPVmaxの低下の大きかった被験者Aでは、1kpの実駆動においても200rpmとペダル回転速度が低かったにも関わらず、1次近似より外挿して求めたRmaxは223.78rpmと大きな数値となり、これが結果としてPVmaxを

大きくしてしまったものと考えられる。これに対して2次近似し、 R_{max} 、 P_0 といった各要素を実際の数値近くに近似した補正PVmaxは、補正前のPVmaxに比較して大きな数値の低下がみられたものと考えられる。

パワーの評価・算出は、Hillの方程式にみられるように力（加重または負荷）と速度の両面の要素からなされることを考えれば、エルゴメータ駆動における負荷と速度（ペダル回転速度）の関係が凸型の指数近似曲線であることから、本研究によって提案されたような方法を用いて、パワー算出のための各定数を実際の数値に近似することは必要不可欠と考える。

以上の点から、本研究のPVmaxの補正方法は実際のエルゴメータ駆動の動態—特にペダル負荷とペダル回転速度の関係—が考慮された妥当性の高い方法であると考えられる。

今後の課題としては、中村らの方法によるPVmax算出のエルゴメータ同様にコンピュータ制御されたエルゴメータの開発を行うものである。

その場合、応答特性を考慮し、電気磁気ブレーキ式の負荷制御ではなく、パウダーブレーキ式の負荷制御を搭載することを考える。

5. 結 語

本研究は以下のようにまとめられる。

- 1) 従来のPVmax算出方法（負荷とペダル回転速度の1次近似による各定数からのPVmax算出）を変更し、負荷とペダル回転速度を2次近似させ、得られた定数よりHillの方程式を用いたパワー変換手順によってPVmaxを算出する方法を提案した
- 2) このような近似は実際のエルゴメータ駆動時の負荷とペダル回転速度の关系到近い近似であるため、外挿より得られる各定数は実際の数値に近く、よって得られたPVmaxもより実際のエルゴメータ駆動時のパワー特性を評価している
- 3) 今後の課題としては、この方法を用い、コンピュータ制御したエルゴメータの開発を行うことである。

参考文献

- 1) Fox, E. L and D. K. Mathews : The physiological basis of physical education and athletics. W. B. Sanders, Philadelphia, 1981.
- 2) 長谷川光彦, 百合繁, 塩野谷明 : 生体筋力特性による自転車エルゴメータ駆動シミュレーション, 日本機械学会論文集 (B), Vol.60(579), pp3732-3740, 1994.
- 3) Hill, A.V : The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. Proc. Roy. Soc. B, 126, pp136-195, 1938.
- 4) 猪飼道夫 : 身体運動の生理学, pp29-63, 杏林書院, 1973.
- 5) 金子公有 : 筋収縮の力・スピード・パワー, 体育の科学, Vol.20, pp368-373, 1970.
- 6) Kaneko, M : The relation between force, velocity and mechanical power in human muscle. Res. J. Physical Ed. Vol.14(3), pp143-147, 1970.
- 7) 百合繁, 塩野谷明, 長谷川光彦 : 生体筋力特性による自転車エルゴメータ駆動シミュレーション (筋の弾性要素を考慮して), 日本機械学会機械力学・計測制御講演文集, pp261-265, 1994.
- 8) 百合繁, 塩野谷明, 長谷川光彦 : 生体筋力特性による自転車エルゴメータの駆動シミュレーション, 応用力学論文集, pp605-609, 1994.
- 9) 中村好男 : 最大無酸素パワーの測定, 一般人・スポーツ選手のための体力診断システム, pp67-76, ソニー企業, 1985.
- 10) 塩野谷明, 鈴木勝衛 : テニス選手の最大無酸素パワーとフレイスタイルの関係, トレーニング科学, Vol.6 (1), pp51-55, 1994.
- 11) Shionoya, A and K. Suzuki : The maximum anaerobic power and the output specific between force and velocity in bicycle exercise of elite female junior alpine ski racers. Bulltin of Nagaoka univ. of technology. Vol.16, pp61-66, 1994.
- 12) Vandewalle, G : Force-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer. Eur. J. Appl. Physiol. Vol.56, pp650-656, 1987.